

文章编号:0253-9985(2006)05-0584-10

中国南方海相地层水文地质地球化学特征 与油气保存条件

楼章华,朱蓉

(浙江大学水文与水资源工程研究所,浙江杭州310028)

摘要:地下水水文地质地球化学性质与油气运移、聚集和保存存在密切关系。地下水在纵向上可划分为3个不同区带,即自由交替带、交替阻滞带和交替停止带。交替阻滞带是不受地表水影响的水文地质带,有利于油气保存;自由交替带受地表水强烈影响,长期冲刷、氧化,不利于油气保存。中国南方海相地层的油气藏被构造运动改造的强度大,油气保存条件破坏严重。在详细地分析了南方几个主要油气勘探区块的地下水水文地质地球化学特点及其与油气保存条件的关系后,提出了封存大气水的概念,论述了封存大气水的形成过程及其地球化学的基本特点。不整合面附近的封存大气水应该可以认为是油气藏被破坏和保存条件差的标志。在此基础上,针对中国南方海相地层初步总结了一套比较系统的油气保存条件的水文地球化学综合判别指标体系。

关键词:封存大气水;油气保存;水文地质;水文地球化学;中国南方海相地层

中图分类号: TE125.4 **文献标识码:** A

Hydrogeological and hydrogeochemical characteristics and hydrocarbon preservation conditions in marine strata in southern China

Lou Zhanghua, Zhu Rong

(Institute of Hydrology and Water Resources Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310028)

Abstract: The hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of ground water are closely related to hydrocarbon migration, accumulation, and preservation conditions. Ground water can be vertically divided into three zones: free exchanging zone, exchanging-retarded zone, and exchanging-stagnant zone. The exchanging-retarded zone is favorable to petroleum preservation because it is not influenced by surface water, while the free exchanging zone, strongly affected by long-time erosion and oxidation of surface water, offers a poor environment for petroleum preservation. Reconstructed by several tectonic activities, the preservation conditions for oil and gas reservoirs of marine strata in southern China is severely disturbed. Through analysis of the hydrogeological and hydrogeochemical characteristics and their relation with hydrocarbon preservation conditions in several exploration areas of southern China, the concept of preserved meteoric water is put forward and the formation of preserved meteoric water and its geochemical characteristics are discussed. The preserved meteoric water occurring near unconformities can be used as an indicator of poor preservation conditions. Based on the concept, a relatively systematic hydrogeochemical index system for distinguishing hydrocarbon preservation conditions is established for the marine strata in southern China.

Key words: preserved meteoric water; hydrocarbon preservation; hydrogeology; hydrogeochemistry; marine strata in southern China

沉积盆地的气候、沉积环境和构造演化决定了地下水的成因和地下水动力场的形成演化^[1]。

在沉积物沉积埋藏过程中,地下水处于埋藏的内循环系统相对封闭的环境里,由于水-岩反应等导

收稿日期:2006-03-28

第一作者简介:楼章华(1963—),男,教授、博士生导师,地下流体力学与流体化学

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422107)

致地下水化学性质发生变化,通常矿化度、 Cl^- 、 Na^+ 和盐化系数 $[\text{Cl}^-/(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)]$ 增加; HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、变质系数 $(r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-})$ 、脱硫系数 $[r_{\text{SO}_4^{2-}} \times 100/(r_{\text{SO}_4^{2-}} + r_{\text{Cl}^-})]$ 降低^[2]。构造运动则在两个方面对地下水性质进行改造,一方面由于抬升剥蚀作用和沉积间断,古淋滤大气水沿风化剥蚀面大量渗入淡化,从而改变地下水的化学性质;另一方面由于断层作用形成破碎带,特别是长期活动的同生断层为地表水向下渗入提供通道,使之向更深部位交换而发生地下水淡化作用^[3]。在含油气沉积盆地形成演化过程中,地下水是油气生成、运移、聚集的动力和载体,沉积体系中的烃源岩和油气总是与地下水相伴生^[4]。地下水动力场的分布特征在油气运移和聚集过程中起着重要作用^[2,5],地下水水文地球化学特征对油气聚集、分布有重要的指示作用^[6],从而为油气田水文地质地球化学的发展奠定了基础。因此,研究沉积盆地水文地质、水文地球化学对加深含油气沉积盆地地质规律的认识具有重要意义。

1 含油气沉积盆地地下水动力场基本特征

1.1 理想的地下水动力场模式

含油气沉积盆地地下水动力场的理想模式可以归纳为两种,即对称型和不对称型(图1)。含油气沉积盆地地下水动力单元大致可以划分为4种类型^[1]:1)泥岩压实水离心流^[7~10];2)大气水

下渗向心流^[10,11];3)(层间)越流、越流-蒸发泄水^[11];4)滞流^[10]。

1.2 盆地演化过程中的水文地质旋回性

沉积盆地水文地质特征具有旋回性^[12],一个水文地质旋回可分为两个阶段,即沉积水文地质阶段和渗入水文地质阶段。前者包括从区域沉降和水侵开始,发生沉积作用和埋藏沉积水的整个时期;后者是当区域隆起、水退、含水岩石遭受剥蚀,发生大气水入渗形成渗入水的整个时期(图2)。

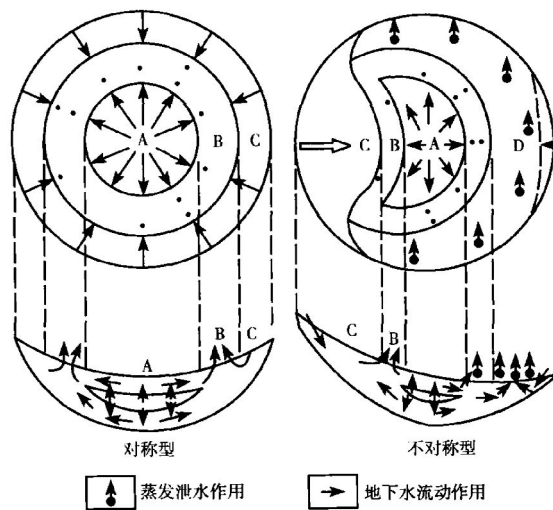


图1 沉积盆地地下水动力场理想模式^[1]

Fig. 1 Theoretical models of subsurface hydrodynamic field in a sedimentary basin^[1]

A. 泥岩压实水离心流区; B. 地下水流动区;
C. 大气水下渗向心流区; D. 越流-蒸发泄水区

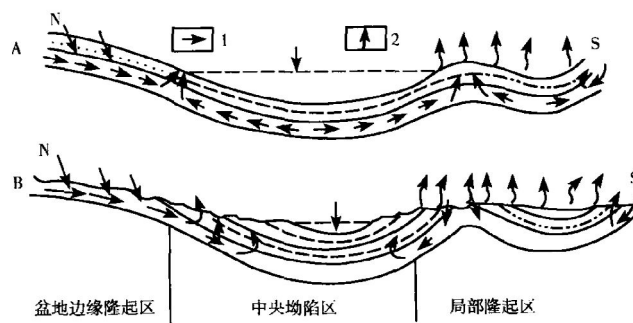
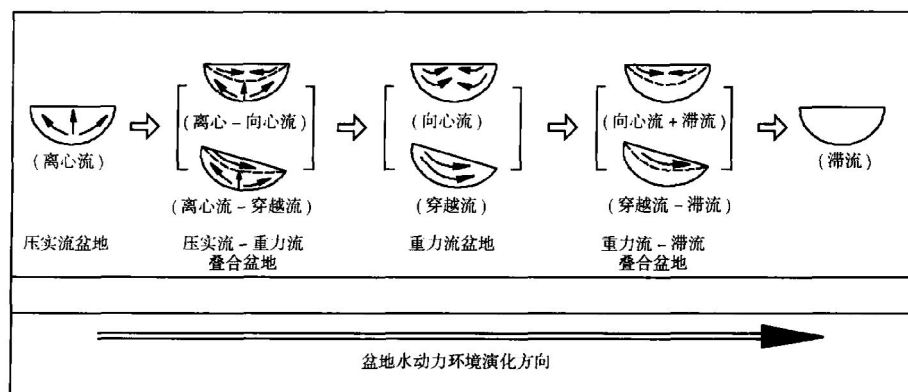


图2 沉积盆地古水文地质旋回示意图^[1]

Fig. 2 Sketch map showing Palaeo hydrogeological cycles in a sedimentary basin^[1]

1. 地下水流方向; 2. 蒸发浓缩作用

A. 沉积埋藏压榨水离心流阶段; B. 抬升剥蚀大气水下渗向心流阶段

图3 沉积盆地水动力场演化与分类^[10]Fig. 3 Types and evolution of hydrodynamic filed in a sedimentary basin^[10]

A 为沉积埋藏压实排水形成的压实水离心流阶段;B 为抬升剥蚀导致的大气水下渗向心流阶段^[1]。古水文地质条件及其演变进程对油气运移和油气远景评价具有重大意义。

1.3 地下水动力场的形成因素及演化规律

区域大地构造背景决定了沉积盆地的发展与演化。含油气沉积盆地水动力场的形成、演化是沉积盆地演化在孔隙流体中的综合反映,它直接受盆地气候、地貌、水文网、沉积环境、构造性质及其演化史控制。

根据含油气盆地地下水能量特征、流动特征、压力特征及水势面特征等,将盆地按地下水动力环境划分为压实流盆地、重力流盆地、滞流盆地3种类型(图3)。但典型的纯粹的滞流盆地实属罕见^[10]。盆地不同地区往往有不同的地下水动力特征,水动力场出现明显分割性,使得众多含油气沉积盆地成为具过渡性特征的叠合盆地。如压实流-重力流叠合盆地和重力流-滞流叠合盆地^[10]。

2 水文地质垂直分带与油气保存条件

地下水与地表水存在或多或少的联系。通常越靠近地表联系越密切,埋藏越深联系越差。因此,可以根据两者相互联系的程度,将地下水在纵向上划分为3个不同区带,即:自由交替带、交替

阻滞带和交替停止带^[3]。

在自由交替带内,可能由于含水层完全暴露在地表,或含水层位于局部侵蚀基准面以上,或含水层虽然位于局部侵蚀基准面以下,但其本身有良好的渗透性,且供、泄水区距离较近,高差较大,使得地表水与地下水基本自由沟通,水力和水化学性质基本一致或差异较小。地下水水化学性质与地表水相似,矿化度较低,多数属 Na_2SO_4 型水,属于活跃的开启的氧化环境,油气藏往往由于缺乏保存条件而遭破坏。

交替停止带因埋深相对较大、上覆岩层透水性能差而与地面隔离,地表水难以渗入。含水层也没有直接的泄水区,地下水泄水方式主要是缓慢的地层压实离心流。地下水矿化度高,通常属 CaCl_2 型水,少数也可受岩性影响出现其他水型,为有利于油气藏保存的封闭环境。

交替阻滞带则介于自由交替带和交替停止带之间,为它们之间的过渡带。交替阻滞带上部通常为 Na_2SO_4 型水,下部为 CaCl_2 和 MgCl_2 型水。在还原条件下,由于生物化学作用,硫酸盐可以被还原而出现 NaHCO_3 型水^[3]。在该带下部具备一定的油气保存条件。

总的说来,水文地质开启程度在垂直剖面上随着深度的增加而减弱。交替停滞带是不受地表水影响的水文地质带,有利于油气保存。自由交替带受地表水强烈影响,长期冲刷、氧化,不利于油气保存。

3 封存大气水与油气保存条件的关系

汪蕴璞等^[13,14]在研究四川盆地西南地区三叠系卤水形成问题时,曾提出水文地质期的概念。随着地壳升降运动的交替进行,在地史过程中相应产生水文地质旋回。在地质演化历史中可以有若干个沉积作用水文地质期,其中也包括若干次古渗入大气水的影响。其中被保留在储层中的古大气水称为封存大气水。

已经发现海相油气田的鄂尔多斯盆地奥陶系、塔里木盆地奥陶系,都经历了长期、强烈的抬升剥蚀间断,均发育了厚度300 m左右的古岩溶储层,至少在探明的古岩溶储层油气区,原始沉积埋藏水都被下渗大气水驱替。但是,在后期的沉积埋藏过程中,下古生界沉积埋藏水伴随离心流驱替了分别在加里东运动、海西运动、印支运动期间下渗的大气水,沉积埋藏水在离心流驱替过程中越流-蒸发浓缩。一方面,这一过程基本决定了塔河油田奥陶系储层油田水主要为沉积埋藏水;另一方面,在沉积埋藏水离心流驱替过程中,油气伴随着离心流运移、聚集。由此可见,反映高矿化度、高 Na^+ 和 Cl^- 浓度特点的沉积埋藏水,不仅是油气保存条件的重要指标,也是评价曾经发生过一定规模油气生成、运移、聚集、保存的重要指标^[15]。

因此,从水文地质旋回特点分析,可以初步认为:沉积埋藏阶段是油气生成、运移、聚集的主要时期;抬升剥蚀阶段是油气运移、调整、大气水下渗、油气藏破坏的时期。抬升剥蚀时期水文地质的最大特点是地层剥蚀、压实排水作用停止、大气水下渗,沉积埋藏水被大气水驱替、淡化。在此后的地质演化过程中,只有当盆地基底再次沉降接受沉积,并且沉积厚度超过前期剥蚀厚度,才能使得储层上下的泥岩再次被压实、排水,同时进入二次生烃,排出的沉积埋藏水形成压实排水离心流,驱替或部分驱替前期下渗的大气水,驱替程度取决于压实强度、排出水的数量,生成的油气也伴随离心流运移、聚集。显然,如果沉降沉积的厚度不能超过前期剥蚀厚度,不整合面下的储层就不可能得到其相邻层段泥岩压实排出水的补给,抬升剥蚀阶段形成的下渗大气水也就不能被沉积埋藏

水驱替,储层里的地下水保留了(古)大气水或受(古)大气水严重影响的水文地球化学特征。不整合面附近的封存大气水应该可以认为是油气藏被破坏和保存条件差的标志。

4 中国南方主要区块海相地层地下水水文地球化学与油气保存条件

中国南方海相地层油气藏经历了多期构造运动,被构造活动改造的强度大。各期的沉积盆地、地质体、地下流体都发生过多次调整和改造,油气藏保存条件破坏严重,形成复杂含油气系统^[16-22]。

4.1 川东、鄂西渝东及湘鄂西区块

川东-鄂西渝东-湘鄂西地区地下水化学特征总结于表1中。

川东地区石炭系地下水矿化度一般为36~103 g/L,变质系数($r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$)为0.01~1.00,变化范围大,高陡构造的局部高部位受到间断性下渗大气水淡化作用影响。川东地区二叠系长兴组地下水以 CaCl_2 型水为主,矿化度变化范围为17~56 g/L。茅口组、栖霞组地下水水型主要为 CaCl_2 型,但盆地边缘,如中梁山、观音峡、六合场、石油沟等构造为 NaHCO_3 型水,南温泉、东溪构造、铁山背斜也有 Na_2SO_4 型水。矿化度一般是14~66 g/L。在盆地内华蓥山断裂南端和重庆附近也各存在一个矿化度小于20 g/L的低值区。

三叠系在华蓥山以西保存比较完整且深埋地腹,川东、鄂西渝东、湘鄂西等地只在向斜区有零星分布,甚至剥蚀殆尽。鄂西渝东地区三叠系地下水水文地球化学特征与川东地区相比,矿化度有所降低,变质系数增大,大气水沿着构造高部位下渗的强度增强。当地表出露中侏罗统沙溪庙组以上地层时,自由交替带一般在下侏罗统珍珠组以上;当地表出露中、上三叠统时,自由交替带一般在嘉陵江组以上;而当出露嘉陵江组时,自由交替带可至飞仙关组,渗入水影响可至3 000 m。大型断层发育带也影响其邻近地区的水文地质条件。盐井、卷店等构造位于齐岳山高断褶带西翼,地表虽出露中侏罗统沙溪庙组,但盐井构造飞仙关组及珍珠组矿化度仅1~6 g/L,为 Na_2SO_4 型水。卷店构造从嘉陵江组到下二叠统栖霞组地下水均为 Na_2SO_4 型,矿化度小于3 g/L,地下水自由

表1 鄂西渝东、湘鄂西及邻区水化学特征对比

Table 1 Correlation of hydrochemical characteristics in western Hubei and eastern Chongqing, western Hunan and western Hubei and nearby areas

构造	井号	层位	水化学性质				水文地质垂直分带
			矿化度/(g·L ⁻¹)	变质系数	脱硫系数	水型	
宣汉-达县 普光	毛坝2(4)	飞三	77.10	1.35	11.25	Na ₂ SO ₄	交替停止带
	毛坝2	嘉二	65.50	1.07	11.14	Na ₂ SO ₄	
	池1	P ₁ q	111.13	0.85	0.03	CaCl ₂	
万县复向斜 大池干	池9	C ₂	61.31	0.73	0.01	CaCl ₂	
	池7	ε ₃	346.39	0.57		CaCl ₂	
	洋渡溪 洋渡1	T ₁ J ³	66.84	0.94	0.02	CaCl ₂	
方斗山翼部 马鞍槽	马鞍1	C ₂	134.80	0.81	0.22	CaCl ₂	
	茨竹垭 茨(竹)1	T ₁ J ³⁻¹	67.41	4.92	66.97	Na ₂ SO ₄	
		C ₂	124.63	0.77	0.04	CaCl ₂	
石柱复向斜 建南	建13	J ₁	17.40	1.04	0.74	Na ₂ SO ₄	交替停止带
		T ₃ x ⁵⁻⁶	133.97	0.65	0.18	CaCl ₂	
	建24	T ₃ x ⁵⁻²	126.92	0.72	0.01	CaCl ₂	
		T ₃ x ⁴⁻²	146.46	0.71	0.00	CaCl ₂	
	建3	T ₁ J ¹	112.67	0.99	3.41	CaCl ₂	
		T ₁ J ¹	142.99	1.00	2.79	MgCl ₂	
	建31	T ₁ J ³	133.14	0.92	0.39	CaCl ₂	
		P ₂ ch	144.51	0.92	0.21	CaCl ₂	
	建13	C ₂	61.77	0.40	0.06	CaCl ₂	
	龙驹坝 龙1井	T ₁ d ³	11.17	1.39	48.94	Na ₂ SO ₄	交替阻滞带
齐岳山背斜 卷店	龙4井	P ₁ q-C ₂	130.46	0.70	0.02	CaCl ₂	交替停止带
		T ₁ J ²	1.96	5.63	97.76	Na ₂ SO ₄	自由交替带
	卷1井	T ₁ d ³	1.43	5.58	88.94	Na ₂ SO ₄	
		P ₂ ch	2.74	1.47	32.65	Na ₂ SO ₄	
		P ₁ q-P ₁ m	2.61	1.69	48.18	Na ₂ SO ₄	
		J ₁ z	1.64	3.31	41.76	NaHCO ₃	自由交替带
	盐井 盐1井	T ₁ d ³	2.43	10.88	86.47	NaHCO ₃	交替阻滞带
		P ₂ ch	8.79	0.93	13.94	CaCl ₂	
		C	8.35	0.67	1.70	CaCl ₂	
		ε ₁ ¹					
湘鄂西 中央背斜带	茶1	ε ₁ ³	2.70	31.90		Na ₂ SO ₄	自由交替带
		0 ₁ ¹⁻³					
	鄂参1	Z ₂ ²	6.77	3.78	60.32	NaHCO ₃	
	果1	ε ₁ ¹	3.36	3.54	99.24	Na ₂ SO ₄	
	李2	ε ₂	3.78	3.75	75.04	Na ₂ SO ₄	
	花果坪复向斜 河2	S ₁	1.80	39.54	10.87	NaHCO ₃	
		0 ₁ ¹⁻³	1.23	9.91	95.36	Na ₂ SO ₄	
	洗1	ε ₁ ³	8.88	4.09	71.49	NaHCO ₃	
		ε ₁ ²	7.60	2.08	69.35	Na ₂ SO ₄	
	宜3	Z ₂ ²	7.63	2.17	69.86	Na ₂ SO ₄	
	宜4	Z ₂ ²	8.19	2.29	68.49	Na ₂ SO ₄	
	宜都-鹤峰背斜带 茅3	ε ₁ ¹	1.22	5.10	21.20	NaHCO ₃	
		Z ₂ ¹	1.02	4.70		NaHCO ₃	
	咸1	ε ₁ ³	2.13	25.57	98.66	Na ₂ SO ₄	
		ε ₂	4.84	2.32	80.06	Na ₂ SO ₃	
	大1	ε ₁ ⁴	5.14	2.15	79.23	Na ₂ SO ₄	

交替带可能大于3 000 m,其原因与齐岳山断裂带供水区沟通有关^[3]。

在方斗山复背斜以西、石柱复向斜地区,上古

生界-中生界地层覆盖面积大,目的层埋藏深,水文地质开启程度低,中、古生界地下水以沉积埋藏水为主,只有背斜轴部局部地区大气水沿断裂带和

剥蚀露头区下渗。湘鄂西地区已钻井资料显示,古生界地下水以封存大气水为主,地下水化学开启程度大,可深达3 739 m(洗1井),整体地下水化学环境开启性较强,水文地质交替停止带深度较大。

对于上古生界,齐岳山背斜以西包括川东褶皱带,大面积被侏罗系-三叠系巴东组地层覆盖,仅局部地区出露下三叠统地层。该区域对于上组合已构成良好的区域盖层,经钻探证实为有利的油气保存区带,方斗山、齐岳山高陡背斜由于核部出露二叠系,保存条件较差,湘鄂西地区的上古生界普遍出露地表或剥蚀殆尽,油气保存条件差。

对于下古生界,石柱复向斜及其以西的川东地区具有良好的油气保存条件;方斗山、齐岳山高陡背斜由于核部出露二叠系,但存在志留系和寒武系盖层的封盖作用,油气保存条件仍较好;湘鄂西地区志留系连片分布的花果坪复向斜和桑植-石门复向斜中部可能存在地腹圈闭,可能存在局部的残存油气保存条件,但总体相对较差;宜都-

鹤峰背斜带及中央背斜带,由于志留系区域盖层剥蚀殆尽,保存条件差。

4.2 江汉盆地

江汉盆地中、古生界地下水为相对高矿化度水(表2),矿化度通常大于20 g/L,最高者为51~61 g/L,多数属 Na_2SO_4 型水,偶见 NaHCO_3 和 CaCl_2 型水,不同层位随深度的变化较小。从地下水化学性质特点来看,矿化度普遍小于35 g/L,可能以封存大气水为主。推测地下水被淡化的时间可能为早燕山运动之后至上白垩统沉积之前,与该区经历长期暴露、剥蚀有关。对于中扬子江汉盆地中、古生界以往勘探的主要目标的油气保存条件可能较差。

4.3 苏北盆地

苏北盆地油田水化学特征总结于表3。其中高邮凹陷是东台坳陷中沉积厚度最大、勘探开发

表2 江汉盆地地下水水化学特征参数

Table 2 Hydrochemical parameters of ground water in Jiangnan basin

地层	样品数	$(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			$\text{Ca}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			$\text{Mg}^{2+}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			$\text{Cl}^-/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
T	22	24 136	25	8 660	1 423	25	596	258	0	54	37 201	12	11 281
P	16	14 806	198	7 811	3 273	150	1 013	333	45	138	22 156	17	9 807
C	7	10 814	210	6 952	2 044	50	1 020	241	15	100	24 000	177	12 698
O	6	8 222	736	4 340	4 283	38	1 408	1 337	6	374	22 156	562	8 656
ε	9	9 663	2 446	6 932	1 849	200	650	272	45	169	15 066	3 207	9 953
Z	3	1 548	1 039	1 294	517	305	411	61	6	34	1 807	1 249	1 528
地层	样品数	$\text{SO}_4^{2-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			$(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			矿化度 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			变质系数		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
T	22	9 745	300	2 780	1 118	31	544	66 788	1 000	25 523	3.22	0.96	1.38
P	16	7 114	1 091	3 240	3 402	152	750	41 317	2 980	22 344	13.29	0.76	1.97
C	7	3 893	300	2 746	1 448	99	548	32 702	852	23 429	1.83	0.85	1.20
O	6	2 987	741	1 571	1 678	301	786	39 058	2 000	14 233	2.16	0.57	1.39
ε	9	3 362	1 976	2 776	1 769	92	566	28 231	9 171	21 929	1.19	0.86	1.09
Z	3	1 824	1 815	1 820	255	169	212	5 873	4 996	5 290	1.32	1.28	1.30
地层	样品数	脱硫酸系数			盐化系数			水型					
		最大	最小	平均	最大	最小	平均						
T	22	98.45	1.58	29.86	53.92	0.39	19.74	以 Na_2SO_4 型为主					
P	16	97.91	7.56	25.71	88.45	0.03	29.90	以 Na_2SO_4 型为主					
C	7	55.61	11.36	24.54	65.38	1.78	30.29	以 Na_2SO_4 型为主					
O	6	57.45	4.40	30.80	33.20	1.83	10.57	Na_2SO_4 , CaCl_2 和 NaHCO_3 型					
ε	9	37.25	8.84	19.61	87.17	6.51	32.59	以 Na_2SO_4 型为主					
Z	3	51.80	42.74	47.27	10.69	4.90	7.80	Na_2SO_4 型					

表3 苏北盆地地下水水化学特征参数
Table 3 Hydrochemical parameters of ground water in Subei basin

地层	样品数	$(K^+ + Na^+) / (mg \cdot L^{-1})$			$Ca^{2+} / (mg \cdot L^{-1})$			$Mg^{2+} / (mg \cdot L^{-1})$			$Cl^- / (mg \cdot L^{-1})$			$SO_4^{2-} / (mg \cdot L^{-1})$			$(HCO_3^- + CO_3^{2-}) / (mg \cdot L^{-1})$		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
E	447	16 436	47	6 366	3 928	0	243	988	0	55	65 601	35	9 311	19 224	0	1 046	12 570	18	1 164
K	48	109 072	240	13 364	8 580	20	639	758	0	102	169 111	47	20 136	2 342	0	1 107	15 060	58	1 484
J	1	17 009	17 009	17 009	571	571	571	70	70	70	26 349	26 349	26 349	1 228	1 228	1 228	369	369	369
T	17	8 386	127	2 981	2 417	0	363	211	0	51	15 099	61	3 997	2 427	28	688	7 094	79	1 201
P	14	8 579	226	2 099	43 086	0	3 703	122	4	39	13 615	142	2 664	1 095	20	505	4 043	69	1 100
C	2	1 138	142	640	289	45	167	58	43	51	454	44	249	996	273	635	1 750	208	979
D	6	35 118	185	9 050	521	20	267	170	6	70	54 963	44	13 242	2 018	0	776	2 312	179	1 399
S	2	504	258	380	79	22	51	48	41	45	4 102	445	2 274	961	376	669	10 204	583	5 394
O	7	9 322	264	2 959	3 256	273	1 030	140	102	118	12 918	106	4 737	8 410	172	2 424	3 649	427	1 351
ε	20	32 050	1 783	7 336	4 128	102	1 007	2 269	17	402	49 673	1 236	12 227	2 286	39	900	4 470	444	2 347
Z	12	11 920	2 180	5 637	918	44	338	316	15	92	17 471	3 049	8 428	1 931	163	920	1 164	392	714
地层	样品数	矿化度/($mg \cdot L^{-1}$)			变质系数			脱硫酸系数			盐化系数			水型					
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
E	447	45 781	514	17 994	12.67	0.01	1.20	75.04	0	9.10	252.45	0.18	16.54	NaHCO ₃ 型为主, 其次 Na ₂ SO ₄ 型					
K	48	281 825	845	36 792	23.90	0.34	2.53	95.21	0	14.20	633.37	0.06	48.98	NaHCO ₃ 型为主, 其次 Na ₂ SO ₄ 型					
J	1	45 596	45 596	45 596	1.00	1.00	1.00	3.33	3.33	3.33	71.41	71.41	71.41	MgCl ₂ 型					
T	17	29 360	350	9 301	8.26	0.86	2.29	90.02	5.43	25.95	27.60	0.12	5.62	NaHCO ₃ 型为主, 其次 Na ₂ SO ₄ 型					
P	14	23 991	1 454	6 711	5.63	0.97	1.87	75.35	0.13	29.21	11.16	0.17	2.83	NaHCO ₃ 型为主, 其次 Na ₂ SO ₄ 型					
C	2	3 720	1 737	2 729	4.98	3.87	4.43	94.36	30.78	62.57	0.26	0.21	0.24	NaHCO ₃ 和 Na ₂ SO ₄ 型					
D	6	92 820	1 676	24 825	7.09	0.99	3.89	94.51	0	48.80	29.24	0.20	7.45	NaHCO ₃ 和 Na ₂ SO ₄ 型					
S	2	22 570	5 350	13 960	1.75	0.10	0.92	38.46	14.77	26.61	0.76	0.40	0.58	NaHCO ₃ 和 Na ₂ SO ₄ 型					
O	7	26 780	2 036	15 785	4.84	0.52	2.52	82.89	10.18	44.63	26.91	0.22	6.64	Na ₂ SO ₄ 型为主, 其次 NaHCO ₃ 型					
ε	20	85 311	7 468	23 699	2.55	0.28	1.35	37.29	1.83	9.29	94.64	0.32	14.68	NaHCO ₃ 型为主, 其次 CaCl ₂ 型					
Z	12	32 803	6 163	16 822	1.11	0.83	1.03	12.68	3.39	7.02	28.16	4.62	12.10	以 NaHCO ₃ 型为主					

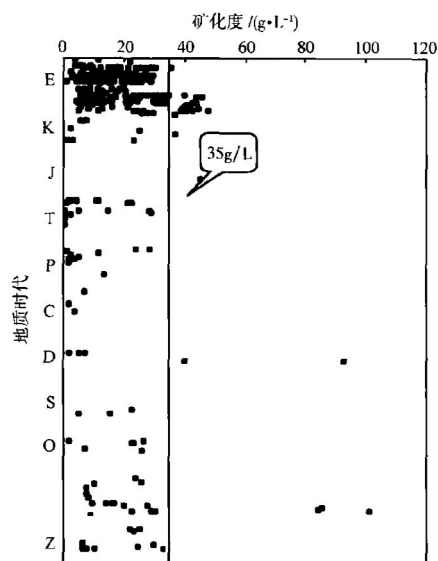


图4 苏北盆地地层水矿化度纵向变化规律

Fig. 4 Vertical variation of formation water salinity in Subei basin

程度较高的地区。从已有钻井情况来看,新生界地下水矿化度总体上比震旦系—白垩系的大(图4),震旦系—白垩系地下水绝大多数明显受到下渗大气水淡化作用影响,矿化度低,可能以封存大气水为主,并且随埋藏深度增大的变化趋势不明显。说明印支运动、燕山运动对震旦系—白垩系地下水的水文地球化学性质有重要影响,一方面在抬升剥蚀过程中,古淋滤大气水沿风化剥蚀面大量渗入,从而降低地下水矿化度,改变地下水化学性质;另一方面由于断层作用形成破碎带,特别是长期活动的同生断层为地表水下渗提供通道,使之向更深部位交换。

从油气勘探结果分析,盆地边缘和背斜带中的高大构造以及断凹间隆升断块,通常由于断裂作用较强,水文开启程度较高,不利于油气保存。一次生烃形成的油气藏,在强烈的构造运动过程中大部分被破坏,可能有小部分残存。从已有钻井资料分析,下扬子区古生界地下水多数是封存大气水,一方面说明在这些构造中,印支—燕山运动期间大气水对地层流体的彻底交替作用,以及对这些构造中油气藏的强烈破坏作用;另一方面表明这些构造及其邻近地区在古生界没有进入明显的二次生烃。例如小海凸起的老塘1井,是一个典型的“高、大”构造,长期处于隆升剥蚀

区,燕山运动和喜马拉雅运动期间剥蚀作用强烈,断层分别在构造顶部、两侧穿越地表,对这一地区改造作用十分强烈,对原生油气藏的保存十分不利。此外由于这一地区剥蚀厚度大,相邻地区在晚白垩世—早第三纪进入二次生烃的可能性也几乎不存在,并且在晚第三纪,这几条断层继承性地活动,断层延伸到了第三系,对后期保存也十分不利。

因此,对于下扬子海相地层来说,古油藏分布区、盆地边缘和背斜带中的高大构造以及断凹间隆升断块,破坏作用较彻底,不利于油气保存。二次生烃形成的天然气,在前陆盆地中、新生界覆盖区、高大背斜带之间相对宽缓向斜背景中的低潜微幅、低幅构造有利于成藏、保存。因此,应该调整勘探思路:入凹陷,近油源;优选低潜构造、微幅构造作为勘探目标。

5 水文地质地球化学性质的油气保存条件评价指标体系

地下水水文地质地球化学性质与油气运移、聚集和油气藏破坏存在密切关系。通过中国南方海相地层地下水水文地球化学基本特征,可以总结出一套比较系统的油气保存条件的水文地球化学综合判别指标体系(表4)。

6 结论

1) 沉积盆地气候、沉积环境和构造演化决定了地下水成因和地下水动力场形成与演化。地下水水文地质、地球化学特征对油气的聚集、分布有重要指示作用。

2) 沉积盆地具有水文地质旋回性。不整合面附近的封存大气水应该可以认为是油气藏被破坏和保存条件差的标志;也是有机质尚未进入二次生烃,封存大气水形成以后尚未发生过一定规模油气生成、运移、聚集、保存的重要指标。相反,反映高矿化度、高 Na^+ 和 Cl^- 离子浓度特点的沉积埋藏水,不仅是油气保存条件的重要指标,也是评价曾经发生过一定规模油气生成、运移、聚集、保存的重要指标。

3) 川东—鄂西渝东—湘鄂西地区,在方斗山复背斜以西、石柱复向斜地区,中、古生界地下水

表4 海相油气保存条件的水文地质地球化学综合判别指标体系

Table 4 Hydrogeochemical index system for distinguishing preservation conditions in marine oil and gas fields

保存条件	很好(I类)	好(II类)	中等(III类)	差(IV-V类)
地下水成因	沉积埋藏水	短暂受大气水下渗影响	较长期受大气水下渗影响	长期受大气水下渗影响
矿化度/(g·L ⁻¹)	>40	30~40	20~30	<20
变质系数	<0.87	0.87~0.95	0.95~1.00	>1.00
脱硫系数	<8.50	8.50~15.00	15.00~30.00	>30
盐化系数	>20.00	1.00~20.00	0.20~1.00	<0.20
水型	苏林	CaCl ₂ 为主, MgCl ₂ 次之, 偶见 NaHCO ₃ 和 Na ₂ SO ₄	以 CaCl ₂ 为主, 常见 Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃ , Na ₂ SO ₄
	苏哈列夫	Cl ⁻ - Na ⁺	Cl ⁻ - Na ⁺ 为主, Cl ⁻ - Na ⁺ · Ca ²⁺ 次之	Cl ⁻ - Na ⁺ , Cl ⁻ · HCO ₃ ⁻ - Na ⁺ , Cl ⁻ · SO ₄ ²⁻ - Na ⁺ 等
水文地质分带	交替停止带		交替阻滞带	自由交替带

以沉积埋藏水为主,只有背斜轴部局部地区大气水沿断裂带和剥蚀露头区下渗。湘鄂西地区已钻井资料显示,古生界地下水以封存大气水为主,水文地质交替停止带深度较大。

4) 江汉盆地和苏北盆地,已钻井的中、古生界地下水矿化度普遍小于 35 g/L,可能以封存大气水为主。盆地边缘和背斜带中的高大构造以及断凹间的隆升断块,通常由于断裂作用较强,水文开启程度较高,不利于油气保存。高大背斜带之间中、新生界覆盖的相对宽缓向斜背景中的低潜、低幅构造有利于油气成藏、保存。因此,应该入凹陷,近油源;优选低潜微幅构造作为油气勘探的目标。

参考文献

- 1 楼章华,金爱民,朱蓉,等. 论松辽盆地地下水动力场的形成与演化[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 111~120
Lou Zhanghua, Jin Aimin, Zhu Rong, et al. Formation and Evolution of the hydrodynamic field in the Songliao Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 111~120
- 2 楼章华,蔡希源,高瑞祺. 松辽盆地流体历史与油气藏形成分析[M]. 贵阳:贵州科学技术出版社, 1998. 69~76
Lou Zhanghua, Cai Xiyuan, Gao Ruiqi. Analysis of fluid history and the formation of oil and gas pools in the Songliao basin[M]. Guiyang, Guizhou: Guizhou Science and Technology Press, 1998. 69~76
- 3 刘方槐,颜婉荪. 油气田水文地质学原理[M]. 北京:石油工业出版社, 1991. 97~215
Liu Fanghui, Yan Wansun. Principles of hydrogeology of oil and gas fields[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. 97~215
- 4 汪蕴璞,林锦璇,汪林. 论含油气盆地含水系统和水文地质期的划分——以东海西湖凹陷为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(4): 393~398
Wang Yunpu, Lin Jinxuan, Wanglin. Division of water-bearing

systems and hydrogeological periods of oil (gas)-bearing basin with Xihu depression in East Sea China as an example[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(4): 393~398

- 5 李明诚. 沉积盆地中的流体[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 13~17
Li Mingcheng. Fluid in the sedimentary basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 13~17
- 6 刘崇禧. 水化学找油的理论与应用效果[J]. 地球化学, 1989, 10(2): 175~180
Liu Chongxi. Hydrochemical exploration of oils—its principle and application[J]. Geochemica, 1989, 10(2): 175~180
- 7 Chiarelli A. Hydrodynamic framework of eastern Algerian Sahara—influence on hydrocarbon occurrence[J]. AAPG, 1978, 62: 667~685
- 8 Garven G. A hydrogeologic model for the formation of the giant oil sands deposits of the western Canada sedimentary basin[J]. American Journal of Science, 1989, 289: 105~166
- 9 Yahi N., Schaefer R. G. and Litke R. Petroleum generation and accumulation in the Berkine basin, eastern Algeria[J]. AAPG, 2001, 85(8): 1439~1467
- 10 杨绪充. 论含油气盆地地下水动力环境[J]. 石油学报, 1989, 10(4): 27~34
Yang Xuchong. Hydrodynamics for oil-bearing sedimentary basins[J]. Acta Petrolei Sinica, 1989, 10(4): 27~34
- 11 Toth J. Gravity induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth Region, Alberta, Canada[A]. Analysis, Patterns, and Evolution[C]. Water Resources Research, 1987, 14(5): 805~843
- 12 程汝楠. 古水文地质及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1991. 25~36
Cheng Runan. Ancient hydrogeology and its application[M]. Beijing: Geology Press, 1991. 25~36
- 13 汪蕴璞. 四川盆地西南地区三叠系卤水形成问题[A]. 见: 国际交流地质学术论文集(5)[C]. 北京:地质出版社, 1980. 184~189

- Wang Yunpu. The formation of Triassic brine in southwest of Sichuan basin [A]. In: International geology exchange thesis (5) [C]. Beijing: Geology Publishing House, 1980. 184-189
- 14 汪蕴璞. 古水文地质研究内容与方法[J]. 水文地质与工程地质, 1982, 6(3): 223-230
- Wang Yunpu. The contents and methods of ancient hydrogeology [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1982, 6(3): 223-230
- 15 楼章华, 金爱民, 付孝悦. 海相地层水文地球化学与油气保存条件评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(3): 501-505
- Lou Zhanghua, Jin Aimin, Fu Xiaoyue. Study on hydrogeochemistry and evaluation technology of petroleum preservation conditions for marine strata [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2006, 40(3): 501-505
- 16 马永生, 楼章华, 郭彤楼, 等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 406-417
- Ma Yongsheng, Lou Zhanghua, Guo Tonglou, et al. An exploration on a technological evaluation system of petroleum preservation evaluation for marine strata in South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 406-417
- 17 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8
- He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8
- 18 沃玉进, 肖开华, 周雅, 等. 中国南方海相系油气成藏组合类型与勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 11-16
- Wo Yujin, Xiao Kaihua, Zhou Yan, et al. Types of marine plays in southern China and exploration prospects [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 11-16
- 19 郭彤楼, 楼章华, 马永生. 南海相油气保存条件和勘探决策中应注意的几个问题[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 3-9
- Guo Tonglou, Lou Zhanghua, Ma Yongsheng. Several problems on oil and gas preservation and their commercial prospecting in marine sequences of South China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(1): 3-9
- 20 成艳, 陆正元, 赵路子, 等. 四川盆地西南边缘地区天然气保存条件研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 218-221
- Cheng Yan, Lu Zhengyuan, Zhao Luzi, et al. Study on the preservation condition of gas reservoir in southwestern edge of Sichuan basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3): 218-221
- 21 冯增昭. 关于油气保存单元[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 388-390
- Feng Zengzhao. About oil and gas preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 388-390
- 22 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8
- He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8

(编辑 武新民)

(上接第583页)

- 9 Kirkland D W, Evans R. Source rock potential of evaporitic environment [J]. AAPG, 1980, 65(2): 139-148.
- 10 罗建宁, 朱忠发, 谢渊, 等. 羌塘盆地膏盐岩及其与油气勘探的关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 1-8
- Luo Jianning, Zhu Zhongfa, Xie Yuan, et al. The gypsolith and its bearings on the oil and gas exploration in the Qiangtang basin in northern Xizang and southern Qinghai [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 1-8
- 11 罗权生, 荆文波, 聂朝强. 台北凹陷第三系膏盐岩对油气运聚的意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(1): 29-31
- Luo Quansheng, Jing Wenbo, Nie Zhaoqiang. Significance of Tertiary plaster salt rock in Taipei depression to migration and accumulation of hydrocarbon [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(1): 29-31
- 12 王东旭, 曾藏辉, 宫秀梅. 膏盐岩层对油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 329-333
- Wang Dongxu, Zeng Jianhui, Gong Xiumei. Impact of gypsolith on the formation of oil and gas reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 329-333
- 13 纪友亮, 冯建辉, 王声朗, 等. 东濮凹陷下第三系沙三段盐岩和膏盐岩的成因[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 225-231
- Ji Youliang, Feng Jianhui, Wang Shenglang, et al. Origin of salt and gypsum rock in the Third Member of Shahejie formation of Lower Tertiary in Dongpu depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 225-231
- 14 徐士林, 吕修祥, 杨明慧, 等. 库车坳陷膏盐岩对异常高压保存的控制作用[J]. 西安石油大学学报, 2004, 19(4): 5-9
- Xu Shilin, Lü Xiuxiang, Yang Minghui, et al. Controlling effect of gypsum and salt rocks on abnormally high pressure in Kuche depression [J]. Journal of Xi'an Shiyou University, 2004, 19(4): 5-9
- 15 Volozh Y, Talbot C, Ismail Zadeh A. Salt structures and hydrocarbons in the Pricaspian basin [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(2): 313-334.
- 16 Tang Liangjie, Jin Zhijun, Jia Chengzao, et al. Poly-phase salt tectonics and hydrocarbon accumulation in Tarim superimposed basin, northwest China. Science in China (Series D), 2004c, 47(S0): 104-113
- 17 Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Salt tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kuqa foreland fold belt, Tarim Basin, NW China [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004a, 41(1-3): 97-108

(编辑 陈喜禄)